

# 羊毛単繊維の応力-歪み曲線から得られる クリンプ挙動と布の風合いとの関係

松 平 光 男・Anthony MADELEY\*

## Relationship Between Crimp Behavior Obtained from Stress-Strain Curve of Wool Single Fiber and Fabric Handle.

Mitsuo MATSUDAIRA and Anthony MADELEY\*

### Abstract

In order to investigate the relationship between crimp number of wool single fiber and fabric handle, crimp parameters obtained from a stress-strain curve were analyzed precisely and following conclusions were obtained. The crimp number decreases with the increase of fiber diameter, however, is in proportion to crimp shrinkage and crimp force. The crimp shrinkage shows positive correlation with fiber diameter and crimp force, however, the crimp force shows negative correlation with fiber diameter. Total hand value of fabrics is not dependent upon fiber diameter, however, is slightly dependent upon crimp number and crimp shrinkage.

### 1. 緒言

羊毛単繊維には多くのクリンプ（巻縮）があるが、一般に繊維直径が細いほどクリンプ数が多いと言われており<sup>1)</sup>、クリンプ数が多いほど繊維の質が高いと考えられている<sup>2)</sup>。1950～60年代には、クリンプ数、クリンプ振幅、クリンプ形態、等が布の品質に重要であるという研究が数多く行われたが、原毛の品質を決定するために現在用いられている最も重要な客観的方法は繊維直径である。そのため、羊毛繊維直径を細くするべく、羊の品種改良や食糧の改質、或いは衣服の着用、室内飼育、等の努力がなされてきた。しかしながら最近、メリノ子羊を中心とした広範な研究から、繊維直径とクリンプ数とは相関が殆ど無いことを見出し、同程度の直径を持つ羊毛繊維では、クリンプ数やクリンプ曲率が小さい方が、ソフトで良い風合いの布が出来ることが報告されている<sup>3-6)</sup>。

そこで本報告では、客観的方法で求めた総合風合い値（Total Hand Value=THV）<sup>7)</sup>の異なる

代表的な羊毛織物7種類を選び、布より取り出した羊毛単繊維のクリンプについて、応力-歪み曲線から得られるクリンプに関するパラメータを用いて検討する。

### 2. 実験

#### 2-1 試料

紳士秋冬用スーツ地の中から、KESシステム<sup>8)</sup>を用いた風合い客観評価法で得られた総合風合い値<sup>7)</sup>に注目し、その値が出来る限り広く分布するような試料7点を選んだ。これら試料の基本構造データを表1に、KES力学パラメータの結果を表2に、基本風合い及び総合風合い値を表3に示す。

これら試料の中から単繊維を採取したが、織物製織時に生じる糸の織りクリンプを除くため、以下の方法を採用した。

1本の糸（今回の場合、全ての布が約30texの双糸で作られていた）当たり20gfの張力下で、沸騰水蒸気に1分間曝すことによって織りクリン

Table 1 Details of Worsted Fabrics Used in This Experiment

| Sample No. | Structure | Weave Density |            | Single Yarn Count |           | Two-fold Yarn Count |           | Single Yarn Twist |           | Two-fold Yarn Twist |           |
|------------|-----------|---------------|------------|-------------------|-----------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|---------------------|-----------|
|            |           | Ends(/cm)     | Picks(/cm) | Warp(tex)         | Weft(tex) | Warp(tex)           | Weft(tex) | Warp (/m)         | Weft (/m) | Warp (/m)           | Weft (/m) |
| 1          | 2/2-twill | 30.0          | 30.0       | 15.9              | 17.0      | 31.7                | 34.0      | 800S              | 800S      | 800Z                | 800Z      |
| 2          | 2/2-twill | 36.4          | 32.8       | 14.3              | 14.3      | 28.6                | 28.6      | 825S              | 825S      | 825Z                | 825Z      |
| 3          | 2/2-twill | 35.6          | 32.8       | 14.3              | 14.3      | 28.6                | 28.6      | 825S              | 825S      | 825Z                | 825Z      |
| 4          | 2/2-twill | 35.6          | 32.8       | 14.3              | 14.3      | 28.6                | 28.6      | 825S              | 825S      | 825Z                | 825Z      |
| 5          | 2/2-twill | 35.6          | 33.2       | 14.3              | 14.3      | 28.6                | 28.6      | 825S              | 825S      | 825Z                | 825Z      |
| 6          | 2/2-twill | 34.4          | 32.0       | 15.2              | 15.2      | 30.3                | 30.3      | 680S              | 680S      | 550Z                | 550Z      |
| 7          | 2/2-twill | 37.2          | 32.4       | 14.3              | 14.3      | 28.6                | 28.6      | 825S              | 825S      | 825Z                | 825Z      |

Table 2 Results of Basic Mechanical Parameters of Worsted Fabrics Obtained by KES-System

| Sample No. | LT<br>(-)(gfcm/cm <sup>2</sup> ) | WT<br>(%)(gfcm <sup>2</sup> /cm) | RT<br>(%)(gfcm <sup>2</sup> /cm) | B<br>(gfcm/cm) | 2HB<br>(gfcm/cm) | G<br>(gf/cm/deg) | 2HG<br>(gf/cm) | 2HG5<br>(gf/cm) | LC<br>(gf/cm) | WC<br>(-)(gfcm/cm <sup>2</sup> ) | RC<br>(%)(-) | MIU<br>(-) | MMD<br>(-) | SMD<br>(μm) | T<br>(mm) | W<br>(mg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------------------------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|----------------------------|
| 1          | 0.581                            | 10.15                            | 67.2                             | 0.096          | 0.036            | 0.86             | 0.63           | 1.58            | 0.225         | 0.304                            | 73.4         | 0.168      | 0.012      | 2.16        | 0.854     | 23.75                      |
| 2          | 0.623                            | 8.73                             | 80.7                             | 0.064          | 0.015            | 0.59             | 0.19           | 1.10            | 0.267         | 0.094                            | 64.3         | 0.148      | 0.009      | 1.83        | 0.474     | 20.44                      |
| 3          | 0.655                            | 8.79                             | 80.0                             | 0.075          | 0.017            | 0.58             | 0.24           | 1.12            | 0.271         | 0.075                            | 62.5         | 0.149      | 0.009      | 1.97        | 0.476     | 19.63                      |
| 4          | 0.612                            | 8.97                             | 79.8                             | 0.070          | 0.023            | 0.60             | 0.34           | 1.12            | 0.284         | 0.146                            | 61.1         | 0.165      | 0.010      | 2.43        | 0.594     | 21.05                      |
| 5          | 0.608                            | 9.31                             | 79.2                             | 0.071          | 0.025            | 0.69             | 0.41           | 1.31            | 0.311         | 0.127                            | 61.8         | 0.161      | 0.010      | 2.37        | 0.540     | 20.98                      |
| 6          | 0.673                            | 8.16                             | 76.2                             | 0.081          | 0.040            | 1.08             | 0.71           | 2.44            | 0.330         | 0.113                            | 65.7         | 0.154      | 0.010      | 2.02        | 0.497     | 20.73                      |
| 7          | 0.547                            | 8.69                             | 78.6                             | 0.084          | 0.027            | 0.53             | 0.21           | 0.86            | 0.301         | 0.098                            | 64.2         | 0.156      | 0.009      | 2.08        | 0.505     | 20.46                      |

Table 3 Primary Hand Values and Total Hand Values  
Calculated by KN-101W and KN-301W

| Sample No. | KOSHI | NUMERI | FUKURAMI | THV  |
|------------|-------|--------|----------|------|
| 1          | 5.32  | 7.55   | 7.83     | 4.54 |
| 2          | 4.20  | 6.97   | 4.75     | 4.00 |
| 3          | 4.48  | 6.38   | 3.98     | 3.58 |
| 4          | 3.90  | 6.94   | 5.60     | 4.00 |
| 5          | 4.21  | 6.82   | 5.28     | 3.98 |
| 6          | 5.07  | 6.28   | 4.88     | 3.79 |
| 7          | 4.81  | 6.52   | 4.58     | 3.83 |

プを除いた。これには糸の端をセメダインで固定して、分銅を釣り下げること考えた。次に乾燥時の織りクリンプの回復を避けるため、湿った状態の伸びた糸をアクリル製枠に固定して恒温恒湿室 ( $20 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 3\% \text{RH}$ ) 内に放置して乾燥した。その結果、糸の織りクリンプは消失し、繊維が本来持っているクリンプが発現していることを<sup>9)</sup>、実体顕微鏡下で確認した。1種類の布に対して、20本の単繊維を採取した。

## 2-2 実験方法

単繊維1本は  $5\text{mm} \times 25\text{mm}$  にくり抜いた方眼紙に、 $10\text{mm}$  角の同紙でセメダインで固定した。次に光学顕微鏡下で接眼レンズ内に納めたスケールを用いて、直径を計測した。この時繊維直径は、視野に入った部分を変化させ、5点の平均値を用いた。クリンプ数は、実体顕微鏡を用いて、山部から山部まで或いは谷部から谷部までを1個と考え、 $1\text{cm}$  当たりの数を求めた。

単繊維の応力-歪み曲線は精密引っ張り試験機 KES-G1 で測定した。代表的な羊毛単繊維の荷重(応力)-伸張比(歪み)曲線を図1に示すが、本図では、試料基準長を荷重-伸張比曲線の立ち上がり部の接線と伸張比軸との交点によって求め、この時のクランプ間距離を1として、伸張過程でのクランプ間距離を伸張比に置き換えて横軸としている。この試料基準長は単繊維自身は伸張せずに、クリンプが伸びきった時の長さとして仮定している。この荷重-伸張比曲線から、羊毛単繊維の力学パラメータとして以下の量を求めた。破断強度  $S_B$  ( $\text{N/m}^2$ )、破断伸度(最大伸び)  $\epsilon_B = 100(\lambda_B - 1)(\%)$ 、ヤング率  $YM$  ( $\text{N/m}^2$ ) (荷重-伸張比曲線の立ち上がり直線部の接線の勾配)。また、クリンプに関するパラメータとして、クリンプ収縮率 (Crimp Shrinkage=CS) を  $1 - \lambda_r(\%)$  と定義し、 $\lambda = 1$  の時の力をクリンプ力 (Crimp Force=CF) ( $\text{N/m}^2$ ) と定義した<sup>9)</sup>。但し、 $\lambda_r$  は単繊維が力を発現し始める点であり、今回の場合、平均繊維

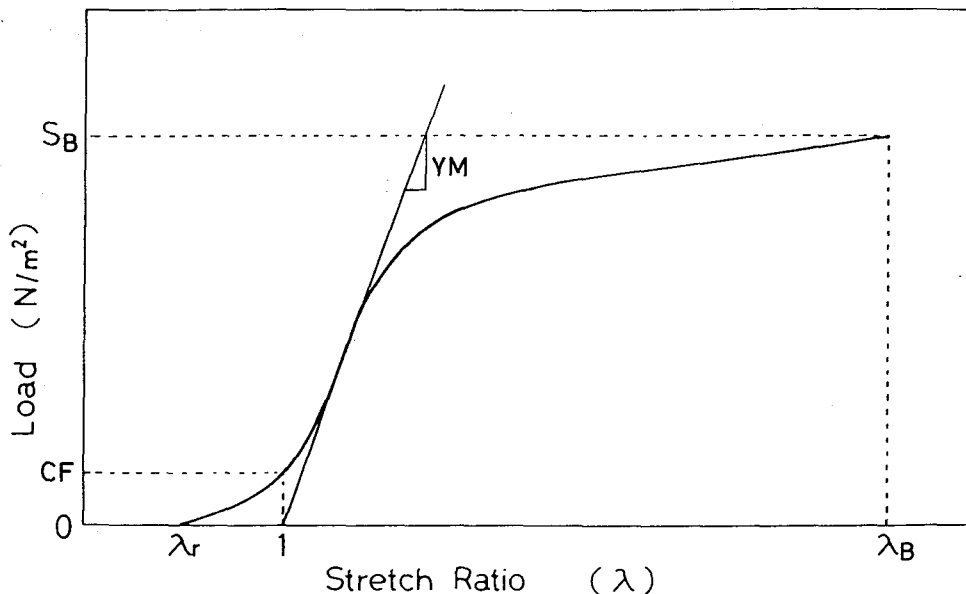


Fig. 1 A typical Stress (Load) -Strain (Stretch Ratio) curve of a wool single fiber.

直径がほぼ一定であった(約 $19\mu\text{m}$ )ことから、荷重= $1.1\times 10^6\text{N/m}^2$ ( $0.033\text{gf}$ )を示す時の点とした。

伸張速度は、 $0.2\text{mm}(0.8\%)/\text{s}$ 一定とした。実験は恒温恒湿室( $20\pm 0.3^\circ\text{C}$ ,  $65\pm 3\%\text{RH}$ )内で行った。

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1 羊毛単繊維の結果

各布から採取した羊毛単繊維の各種パラメータの結果を平均値と標準偏差で表4に示す。どの値もメリノ羊毛繊維の典型的な値を示している。そこで、測定した全ての繊維についての各種パラメータ間の相関係数表を表5に示し、クリンプに関するパラメータについては、図2～図7に示す。これらの図から、羊毛単繊維のクリンプ数は、繊維直径が細いほど多いと考えられる(危険率: 5%)。また、クリンプ数が多いほどクリンプ収縮率が大きく(危険率: 1%)、クリンプ力も大きいと言える(危険率:

0.1%)。一方、クリンプ収縮率は繊維直径が大きいほど大きく(危険率: 0.1%)、クリンプ力とは正の相関がある(危険率: 0.1%)。クリンプ力と繊維直径とは明らかに負の相関があった(危険率: 0.1%)。

クリンプ数と繊維直径とは、相関係数は小さかったものの、従来から言われている、「繊維が細いほどクリンプが多い」という結果が得られ、最近の結果<sup>3-6)</sup>とは必ずしも一致しなかった。この理由としては、試料布の繊維の平均直径はほぼ同じ( $16\sim 20\mu\text{m}$ )であるにも拘わらず、採取した単繊維の直径が幅広く分布していた( $11\sim 27\mu\text{m}$ )ためではないかと考えられる。クリンプ数がクリンプ収縮率やクリンプ力と正の相関があることは、クリンプを引き延ばすのに、大きな力を必要としていることを意味しており、当然の結果と考えられる。クリンプ数とクリンプ収縮率の相関がそれ程高くなかったのは、クリンプの振幅が必ずしも一定でないことを意味している。

Table 4 Results of Wool Single Fiber Characteristics Obtained from Stress-Strain Curve

| Sample No. | Diameter ( $\mu\text{m}$ ) |      | Crimp Number (/cm) |      | Crimp Force ( $\times 10^3\text{N/m}^2$ ) |      | Crimp Shrinkage (%) |      | Young's Modulus ( $\times 10^9\text{N/m}^2$ ) |      | Strength ( $\times 10^8\text{N/m}^2$ ) |      | Elongation (%) |      |
|------------|----------------------------|------|--------------------|------|---|------|---------------------|------|---|------|--|------|----------------|------|
|            | Mean                       | S.D. | Mean               | S.D. | Mean                                      | S.D. | Mean                | S.D. | Mean  | S.D. | Mean                                   | S.D. | Mean           | S.D. |
| 1          | 18.0                       | 4.4  | 7.92               | 0.51 | 1.47                                      | 0.45 | 7.08                | 2.34 | 3.88  | 1.41 | 1.56                                   | 0.50 | 34.5           | 10.2 |
| 2          | 18.0                       | 3.9  | 6.70               | 0.25 | 1.48                                      | 0.40 | 7.33                | 2.64 | 4.11  | 1.31 | 1.53                                   | 0.44 | 32.6           | 11.0 |
| 3          | 19.5                       | 3.8  | 4.58               | 0.29 | 1.07                                      | 0.38 | 4.11                | 2.17 | 3.09  | 0.65 | 1.18                                   | 0.40 | 32.1           | 11.0 |
| 4          | 18.0                       | 3.8  | 6.83               | 0.47 | 0.94                                      | 0.29 | 3.66                | 1.54 | 3.42  | 1.20 | 1.30                                   | 0.42 | 32.9           | 13.4 |
| 5          | 18.0                       | 2.1  | 8.37               | 0.76 | 1.32                                      | 0.30 | 5.33                | 1.93 | 3.47  | 1.04 | 1.24                                   | 0.41 | 28.3           | 13.7 |
| 6          | 16.5                       | 3.5  | 7.17               | 0.51 | 1.10                                      | 0.22 | 3.23                | 1.95 | 3.39  | 0.95 | 1.47                                   | 0.40 | 33.4           | 11.3 |
| 7          | 20.2                       | 4.4  | 6.09               | 0.57 | 0.90                                      | 0.19 | 4.38                | 2.08 | 2.50  | 0.67 | 1.03                                   | 0.21 | 30.5           | 11.3 |

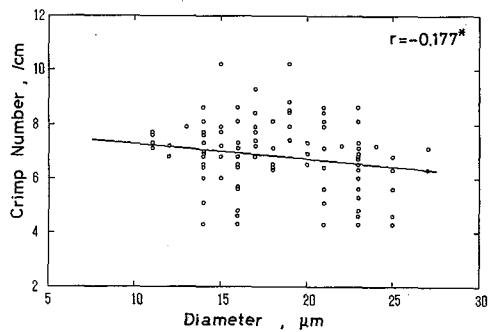


Fig. 2 Relationship between crimp number and fiber diameter.

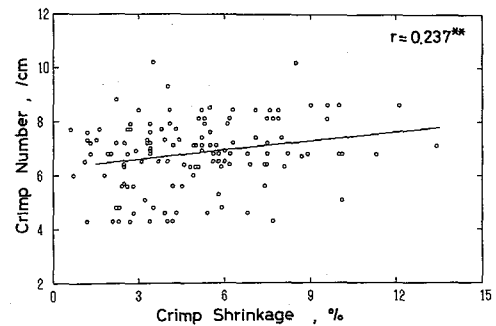


Fig. 3 Relationship between crimp number and crimp shrinkage.

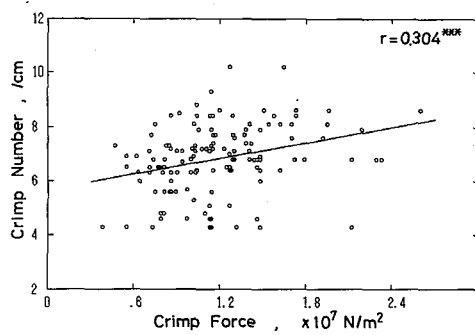


Fig. 4 Relationship between crimp number and crimp force.

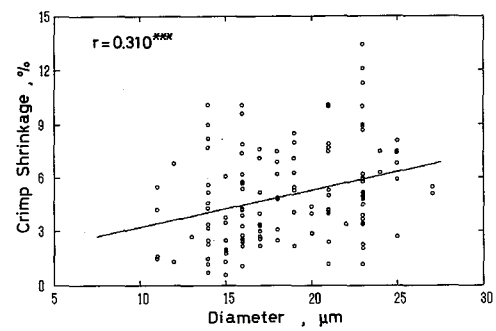


Fig. 5 Relationship between crimp shrinkage and fiber diameter.

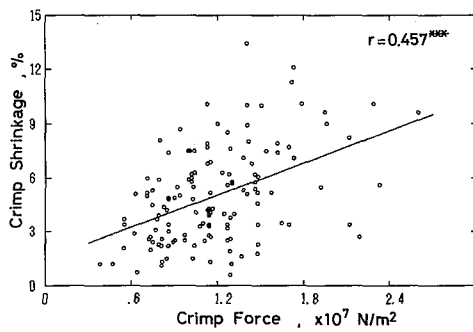


Fig. 6 Relationship between crimp shrinkage and crimp force.

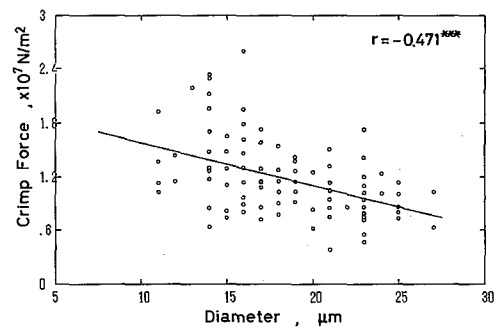


Fig. 7 Relationship between crimp force and fiber diameter.

Table 5 Correlation Coefficients Between Each Fiber Characteristics (n=135)

|                 | Diameter | Crimp Number | Crimp Shrinkage | Crimp Force | Young's Modulus | Strength  | Elongation |
|-----------------|----------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------|------------|
| Diameter        | 1.000    | -0.177*      | 0.310***        | -0.471***   | -0.679***       | -0.572*** | -0.010     |
| Crimp Number    |          | 1.000        | 0.237**         | 0.304***    | 0.210*          | 0.188*    | 0.019      |
| Crimp Shrinkage |          |              | 1.000           | 0.457***    | 0.065           | 0.137     | 0.166      |
| Crimp Force     |          |              |                 | 1.000       | 0.745***        | 0.739***  | 0.180*     |
| Young's Modulus |          |              |                 |             | 1.000           | 0.796***  | 0.074      |
| Strength        |          |              |                 |             |                 | 1.000     | 0.501***   |
| Elongation      |          |              |                 |             |                 |           | 1.000      |

\* significance level; 5% ( $r > 0.169$ ), \*\*; 1% ( $r > 0.223$ ), \*\*\*; 0.1% ( $r > 0.285$ )

クリンプ以外のパラメータとの関連では、繊維直径が大きいほどヤング率や破断強度が小さくなっており、クリンプ力が大きいほどヤング率や破断強度が大きくなっていった。また、ヤング率と破断強度との相関が高く、破断強度と破断伸びとの相関も高かった。

繊維直径は本来的にはヤング率や破断強度とは無関係であるはずだが、今回の結果から、細い繊維の方が太い繊維に比べて強い繊維になっている可能性がある。繊維直径が細いほどクリンプ力が大きくなっていることも、そのことを裏付けていると考えられる。

### 3. 2 布の総合風合い値と羊毛単繊維のクリンプ性状との関係

羊毛単繊維のクリンプパラメータと布の総合風合い (THV) との関連を図8~10に示す。クリンプ数とTHVとは若干の相関があり (危険率: 10%), 高品質な布から取り出した羊毛単繊維のクリンプ数は多いことが予想される。クリ

ンプ収縮率もクリンプ数と同様、THVとは弱い相関を示しており (危険率: 10%), クリンプ力はTHVと殆ど相関が認められなかった。一方、THVと繊維直径との相関はほとんど無いことが表6に示されている。これらの事実、クリンプ数そのものは布の品質にはあまり関係は無いが、クリンプの存在が何らかの意味で羊毛織物の品質を向上する方向に役立つことを意味していると考えられる。

最近言われている、クリンプ数やクリンプ曲率が小さい方が風合いを向上させる点との関連では、今回の結果は異なった結果と考えられる。布の試料点数を増加し、クリンプ曲率の評価法を確立し、クリンプ形態に関する更なる厳密な解析が必要であろう。

### 4. 結論

羊毛単繊維のクリンプ数と布の風合いとの関連を調べる目的で、応力-歪み曲線から得られるクリンプパラメータを求めて検討し、以下の

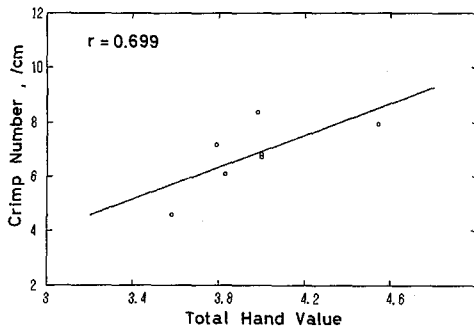


Fig. 8 Relationship between crimp number and total hand value.

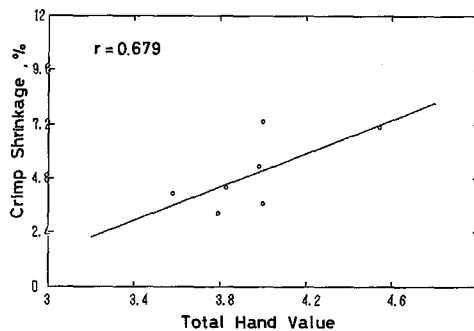


Fig. 9 Relationship between crimp shrinkage and total hand value.

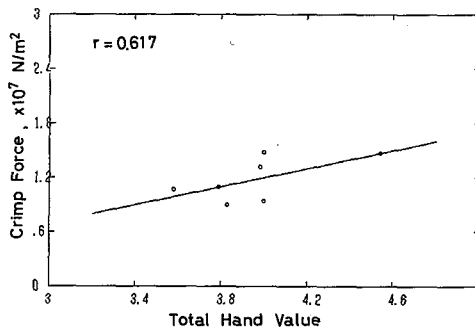


Fig. 10 Relationship between crimp force and total hand value.

結論が得られた。

- (1) クリンプ数は繊維直径が大きいほど少なく、クリンプ収縮率やクリンプ力とは比例関係にある。
- (2) クリンプ収縮率は繊維直径やクリンプ力とは正の相関を示すが、クリンプ力は繊維直径とは逆相関を示す。

- (3) 布の総合風合いは、クリンプ数やクリンプ収縮率には若干の依存性を示し、クリンプ力には依存しない。

#### 文献

- 1) 田中道一, 辻和一郎:「被服材料学」, 化学同人, 京都, p.49 (1980).
- 2) Bernard P. Corbman: "Textiles, Fiber to Fabric", 6th ed. McGraw-Hill Inc., p.7 (1983).
- 3) Anthony Madeley: PhD thesis of UNSW, Australia, (1994).
- 4) A. Madeley, R. Postle: Textile Asia, 1994, 44 (1994).
- 5) A. Madeley, R. Postle, T. Mahar: Text. Res. J., 68(8), 545 (1998).
- 6) A. Madeley, R. Postle, T. Mahar: Text. Res. J., 68(9), 663 (1998).
- 7) 川端季雄: "風合い評価の標準化と解析", 第2版, 日本繊維機械学会, (1980).
- 8) 川端季雄: 繊維機械学会誌 (繊維工学), 26 (10), P721 (1973).
- 9) 松平光男, 川端季雄: 繊維機械学会誌 (論文集), 34(9), T177 (1981).

Table 6 Correlation Coefficients Between Fiber Characteristics and Mechanical Parameters of Fabrics (n=7)

|          | Dimameter | Crimp<br>Number | Crimp<br>Shrinkage | Crimp<br>Force | Young's<br>Modulus | Strength | Elongation |
|----------|-----------|-----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------|------------|
| LT       | -0.570    | -0.217          | -0.352             | 0.037          | 0.277              | 0.338    | 0.249      |
| WT       | 0.074     | 0.468           | 0.617              | 0.532          | 0.373              | 0.256    | 0.105      |
| RT       | 0.246     | -0.452          | -0.370             | -0.413         | -0.287             | -0.508   | -0.537     |
| B        | 0.069     | 0.184           | 0.063              | 0.025          | -0.189             | 0.101    | 0.379      |
| 2HB      | -0.505    | 0.529           | -0.191             | 0.001          | -0.028             | 0.317    | 0.321      |
| G        | -0.794*   | 0.472           | -0.131             | 0.232          | 0.293              | 0.600    | 0.432      |
| 2HG      | -0.737    | 0.580           | -0.106             | 0.219          | 0.275              | 0.555    | 0.417      |
| 2HG5     | -0.816*   | 0.376           | -0.240             | 0.154          | 0.259              | 0.559    | 0.402      |
| LC       | -0.209    | 0.048           | -0.694             | 0.161          | -0.466             | -0.395   | -0.520     |
| WC       | -0.255    | 0.576           | 0.467              | 0.462          | 0.427              | 0.525    | 0.478      |
| RC       | -0.197    | 0.345           | 0.531              | 0.526          | 0.364              | 0.592    | 0.607      |
| MIU      | -0.189    | 0.647           | 0.009              | -0.013         | 0.072              | 0.079    | 0.054      |
| MMD      | -0.326    | 0.605           | 0.312              | 0.347          | 0.377              | 0.483    | 0.459      |
| SMD      | -0.107    | 0.492           | -0.283             | -0.259         | -0.119             | -0.237   | -0.303     |
| T        | -0.106    | 0.503           | 0.438              | 0.400          | 0.366              | 0.447    | 0.465      |
| W        | -0.305    | 0.663           | 0.501              | 0.500          | 0.450              | 0.553    | 0.434      |
| KOSHI    | -0.096    | 0.132           | 0.104              | 0.161          | -0.083             | 0.266    | 0.427      |
| NUMERI   | -0.135    | 0.554           | 0.763              | 0.644          | 0.640              | 0.533    | 0.315      |
| FUKURAMI | -0.321    | 0.664           | 0.490              | 0.488          | 0.486              | 0.558    | 0.439      |
| THV      | -0.281    | 0.699           | 0.678              | 0.617          | 0.584              | 0.598    | 0.370      |

\* significance level: 5% ( $r > 0.755$ ), \*\*: 1% ( $r > 0.875$ )